

自動車用パワー半導体の鉛フリー化技術

特集
1

小山 正晃(こやま まさあき)

蒔田 一之(まきた かずゆき)

五十嵐 隆(いがらし たかし)

① まえがき

昨今、人類の経済・生活活動拡大に伴う気候温暖化や環境汚染など地球規模で起こる環境問題に関心が高まってきている。その中で、自動車・産業・情報・家電用電気電子機器には、半導体デバイス、抵抗、コンデンサ、コイルなどの電子部品をプリント基板上に実装するための接合材料として鉛を含むはんだが用いられている。廃棄する場合、多くは埋立て処分されており、含まれる鉛が雨水に溶け出し地下水汚染を引き起こし人体への健康に脅威を与えている⁽¹⁾。

このような状況下、世界に先駆け欧州連合(EU)は、電気電子機器に含まれる鉛(Pb)、カドミウム(Cd)、水銀(Hg)、六価クロム、臭素系難燃剤(PBB, PBDE)などの有害物質の使用禁止を目的に、RoHS(有害物質使用規制指令)⁽²⁾が2006年7月1日から発効する。(半導体部品においては、シリコンチップをリードフレームに接合するときに用いられるPb含有量85wt%以上のはんだは規制対象外で、外部端子の終端処理に用いられるはんだが規制対象である)。

これを受けて、鉛フリーはんだの実用化の動きが活発になってきている。(社)電子情報技術産業協会(JEITA)は、日米欧の業界団体による「鉛フリーはんだ実用化のワールドロードマップ」の骨子について合意した。平均的部品メーカーは2004年末までに鉛フリー部品の品ぞろえを完了し、2005年末までには電子機器製品の鉛フリー化を完了するとのスケジュールが示された⁽³⁾。

富士電機のディスクリート半導体製品は、2004年3月までに全製品の鉛フリー化技術開発を完了し、同年4月から量産供給できる体制を整えることを目標にしている(表1)。ここでは、富士電機のディスクリート製品および鉛フリー化技術の概要を紹介する。

② 富士電機の鉛フリーディスクリート製品の概要

富士電機のディスクリート半導体製品は、表2に示す挿

表1 鉛フリー化技術ロードマップ

技術開発	1990年	1995年	2000年	2005年
鉛フリー関連法案				RoHS施行
鉛フリー化動向(JEITA)	Sn-Pbはんだ			鉛フリーはんだ
鉛フリー化技術				
○はんだディップ法		技術確立		量産適用
○はんだめっき法			技術確立	量産適用

入実装タイプと、表3に示す面実装タイプに大別され、多種多様なラインアップを有している。主な用途は、一般用として、パソコンやAV機器などの電源、モータ駆動、照明器具に広く用いられている。車載用としては、エンジン制御、オートマチックトランスミッション制御、ブレーキ制御などに使用されている。

外部端子の鉛フリー化は、大まかに、挿入実装タイプはSn-Cuディップ、面実装タイプでSn-Agめっきによる終端処理法を採用している。一部パッケージではすでに量産供給を開始し、遅くとも2004年4月から全パッケージ供給可能な体制を整備中である。

鉛フリー化の課題としては、はんだ融点が高くなるので、顧客アSEMBリーの実装温度も必然的に高くなり、パッケージそのものの耐熱性も確保する必要が生じてくる。図1に、富士電機が推奨するリフロープロファイルを示す。面実装品のリフロー温度は、従来のSn-Pbはんだの場合の245から260と約15も高くなっている。さらに、近年、自動車電装分野もますますパワー半導体製品の採用が急増しており、使用環境の高温化に伴い耐熱性の要求も厳しさを増している状況である。

このような状況下、富士電機のディスクリート製品は、パッケージを構成する部材および組立技術の最適化を図り、十分な耐熱性を確保しており、高信頼度な製品を供給することが可能となっている。



小山 正晃

ディスクリートパッケージ設計・アSEMBリー技術の開発に従事。現在、富士電機デバイステクノロジー(株)半導体事業本部開発統括部デバイス開発部。腐食防食協会会員。



蒔田 一之

半導体アSEMBリー材料技術、特に鉛フリー化技術の開発に従事。現在、富士電機デバイステクノロジー(株)技術・生産企画本部生産技術部。



五十嵐 隆

ディスクリートデバイスの解析技術開発に従事。現在、富士電機デバイステクノロジー(株)半導体事業本部開発統括部デバイス開発部。電気学会会員。

表2 挿入実装タイプ素子の外観と用途

パッケージ	外観	外部端子処理	用途
ピンヘッド		Sn-Cuディップ	一般用 車載用
K-Pack (自立)		Sn-Agめっき	一般用 車載用
T-Pack (自立)		Sn-Cuディップ	一般用 車載用
TO-220		Sn-Cuディップ	一般用 車載用
TO-220F		Sn-Cuディップ	一般用 車載用
TO-220F-5		Sn-Cuディップ	車載用
TO-3P		Sn-Cuディップ	一般用 車載用
TO-3PF		Sn-Cuディップ	一般用 車載用
TO-247		Sn-Cuディップ	一般用 車載用
TO-3PL		Sn-Cuディップ	一般用
TO-3PL-7		Sn-Cuディップ	一般用
SIP-23		Sn-Agめっき	一般用

③ はんだ材の選定

Pb 汚染防止対策として一般に推進されている半導体デバイスの外部端子の鉛フリーはんだ材料は Sn-Cu, Sn-Ag, Sn-Ag-Cu, Sn-Zn, Sn などがあり, 図2に示すように, 従来の Sn-Pb 共晶はんだに比べ融点が約 20 ~ 40 高く, 実装温度が上がるため, 電子部品のはんだ耐熱の向上も必要である。

外部リード端子の終端処理方法として, 溶融したはんだ液に端子をディップして鉛フリーはんだをコーティングする方法があり, 挿入実装タイプのデバイスに適用される。

表3 面実装タイプ素子の外観と用途

パッケージ	外観	外部端子処理	用途
SC型 SMD		Sn-Cuディップ	一般用 車載用
SC型 SMD		Sn-Agめっき	一般用 車載用
SOP-8		Sn-Agめっき	一般用 車載用
SSOP-20		Sn-Agめっき	車載用
PSOP-12		Sn-Agめっき	車載用
SSOP-48		Sn-Biめっき	車載用
K-Pack (SMD)		Sn-Agめっき	一般用 車載用
T-Pack (SMD)		Sn-Agめっき	一般用 車載用
TFP		Sn-Agめっき	一般用

図1 面実装デバイスの推奨リフロー温度プロファイル

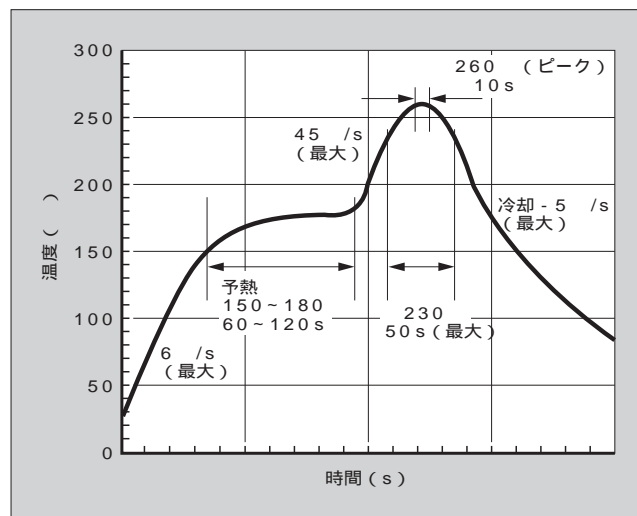
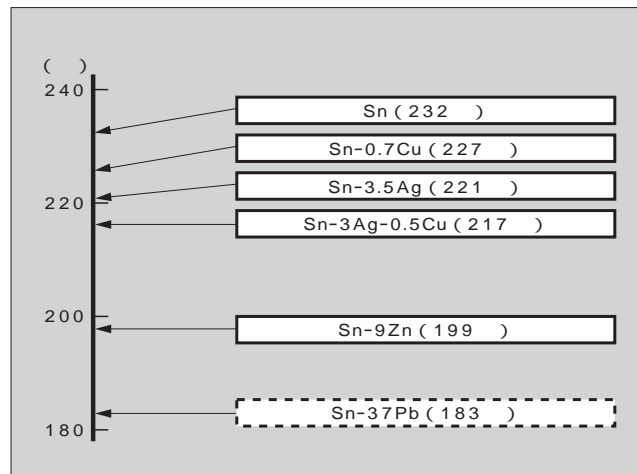


図2 代表的な鉛フリーはんだの融点



この技術は、はんだぬれ性や耐ウイスカ性に優れ、コストが安いことが特徴である。しかし、270 ~ 300 と高温でのディップで製品への熱ストレスが加わるため、適用可能な製品は端子挿入タイプなど耐熱性が十分確保できる製品に限られる。

ディップ用鉛フリーはんだとしては、JEITA が推奨しているプリント基板実装用 Sn-3Ag-0.5Cu (数値は wt % で、Sn は残りの 96.5 wt % を示す) はんだ材に対応でき、端子からのディップ用はんだ液中への Cu の溶出抑制が可能で低コストの観点から Sn-Cu はんだを採用した。接合信頼性、はんだぬれ性、耐ウイスカ性は、JEITA が推奨しているプリント基板実装用 Sn-3Ag-0.5Cu はんだ合金でディップしたときと同等である。

一方、面実装タイプのデバイスには、はんだめっきの方法が適用される。リードフレームをめっき液に浸漬し、はんだ成分を電析させコーティングする技術である。30 程度の低温で処理できる利点があるが、コストが高いことが現状の難点である。鉛フリーめっきには、一般に、Sn-Bi、Sn-Ag、Sn-Cu の合金めっきと Sn 単体めっきがある。

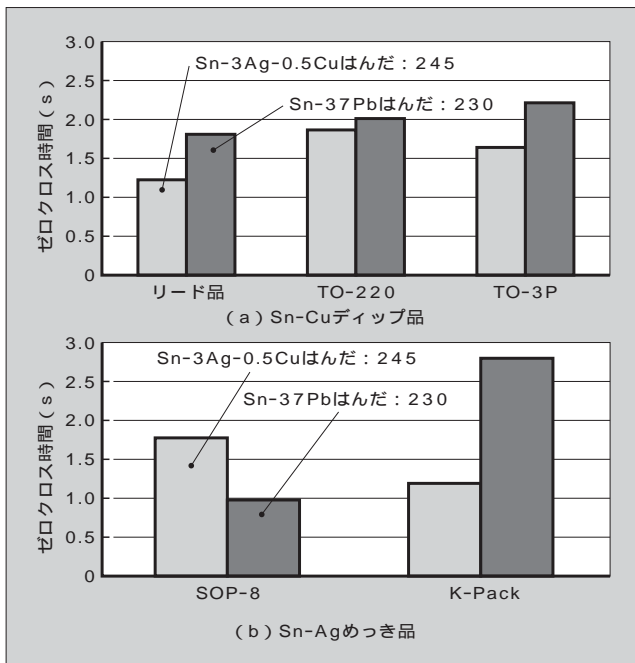
富士電機は、実装時の接合信頼性、はんだぬれ性、耐ウイスカ性に関する各種パッケージ材とめっき組成との相関を実験的に調査した結果から、Sn-Ag めっきを採用した。Sn-Ag めっきは JEITA が推奨しているプリント基板実装用 Sn-3Ag-0.5Cu はんだ合金との相性もよい。

4 鉛フリーはんだ評価結果

Sn-Cu ディップと Sn-Ag めっきの評価結果の代表例を以下に示す。

図 3 に、前処理 (105 , 100 % RH, 1.22 x 10⁵ Pa, 8

図 3 代表的な鉛フリー品のはんだぬれ性



時間) 後のはんだぬれ性評価結果を示す。Sn-Cu ディップ品、Sn-Ag めっき品ともに Sn-Pb 品と同様に、いずれも 3 秒以内であり良好な結果を示している。

図 4 に、Sn-Ag めっきの面実装品の Sn-3Ag-0.5Cu を使用した実装時のはんだフィレット状態の断面 SEM (Scanning Electron Microscope) 像を示す。良好なフィレットが形成されている。

図 5 に、基板実装後ヒートサイクル試験を行った後の接合強度信頼性を示す。Sn-Cu ディップ品、Sn-Ag めっき

図 4 代表的な Sn-Ag めっき面実装品のはんだ実装性

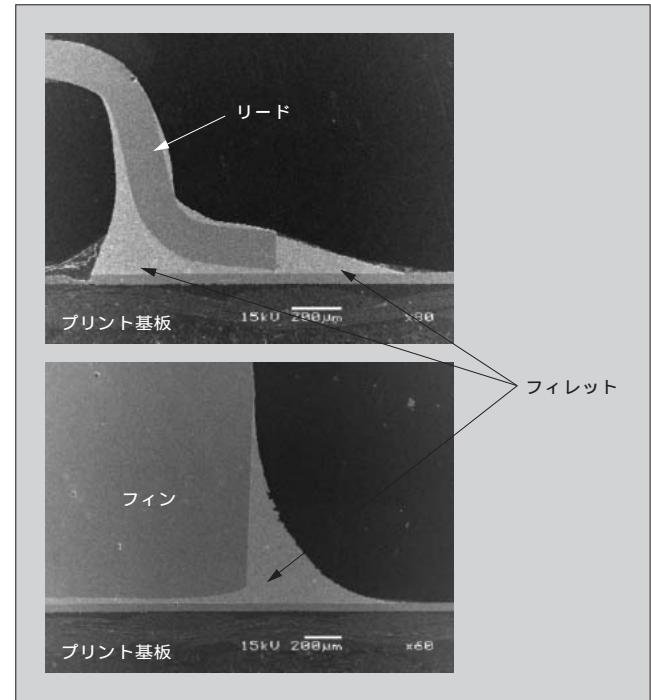


図 5 代表的な鉛フリー品のヒートサイクル試験後の接合強度変化

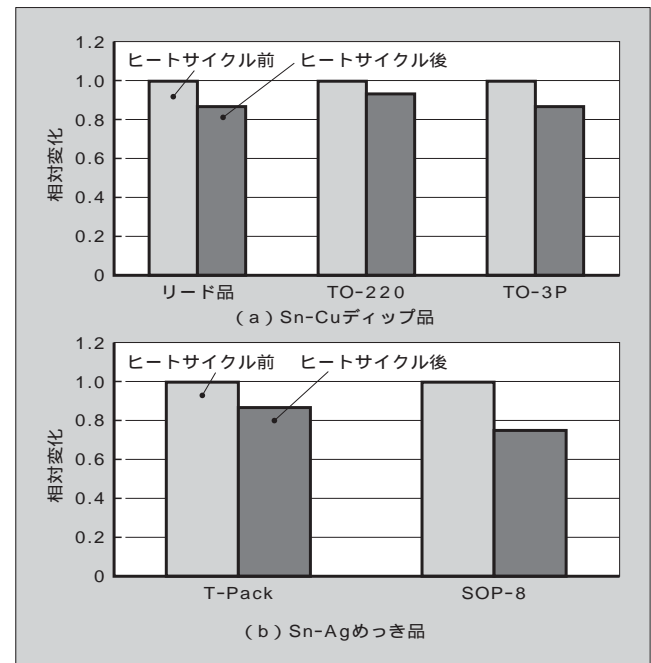
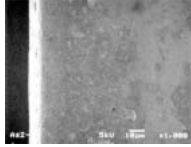
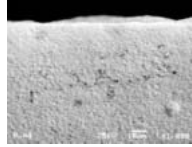
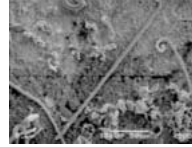
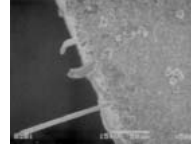
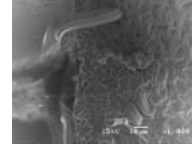


表4 85%RH, 3,000時間放置後のウイスカ評価結果

リードフレーム下地	ディップ		めっき		
	Sn-Cu	Sn-Ag	Sn-Cu	Sn-Bi	Sn
Cu 素地					
Ni めっき					
Ni-P めっき			×	×	×
Ni-Co めっき	-			×	
Ni-Pめっきの例					

○ : ウイスカ発生なし, △ : 50 μm未満, × : 50 μm以上

品ともにはく離はなく接合強度の低下も小さく、十分な耐久性を持っている。

表4に、各種リードフレーム材に対する鉛フリーはんだ材との組合せでのウイスカ評価結果の一例を示す。高温高湿放置によるウイスカ評価では、Sn-CuディップとSn-Agめっきが下地に左右されずウイスカの発生がなかった。

5 あとがき

ディスクリート半導体デバイスの鉛フリー化動向と富士電機の鉛フリー化技術開発概要を述べた。挿入実装タイプ素子と面実装タイプ素子に2分類されるが、それらは主にSn-CuディップおよびSn-Agめっきによる端子終端処理が施されている。これらの鉛フリー処理法は、はんだぬれ性、プリント基板への実装性、はんだ接合強度、耐ウイスカ性などの評価から、十分に実用に供することができるこ

とが分かった。

今後は鉛フリーはんだのぬれ性やウイスカ発生メカニズムの詳細を追求し、お客様や社会との幅広い対話を通して、コストや品質のみでなく地球環境保全に貢献する端子終端処理技術の開発に取り組む所存である。

参考文献

- 菅沼克昭・鉛フリーはんだ技術実践ハンドブック・リアライズ社・2000, p.3.
- 欧州連合・廃電気電子機器（WEEE）に関する欧州議会および理事会指令、電気電子機器に含まれる特定有害物質の使用制限（RoHS）に関する欧州議会および理事会指令・2002-11-8.
- 鉛フリーはんだ実用化ロードマップ2002・電子情報技術産業協会・2002-9.

